

Нейтрон-захватная терапия лечения онкологических заболеваний

Коновалов Павел
konovalov.pav.93@gmail.com

Научный руководитель: Доцент кафедры ФЭУ, Чертков Ю.Б., НИ ТПУ

Нейтрон-захватная терапия – это многопрофильная дисциплина, в развитии которой участвуют специалисты разных направлений.

Основная тенденция развития НЗТ в мире – использование пучков эпитепловых нейтронов для обработки глубоколежащих опухолей и опухолей головного мозга. Силами специалистов МИФИ, ГНЦ Института биофизики и Российского Онкологического Научного Центра имени Н.Н. Блохина на реакторе ИРТ МИФИ создается клиническая база НЗТ с использованием эпитепловых и тепловых нейтронов, ведется наработка и изучение новых препаратов и развитие сочетанной технологии лечения злокачественных опухолей на основе НЗТ. Именно реализация этих целей позволит создать в России первую клиническую базу НЗТ и откроет возможность перехода к устойчивому развитию.

Борная нейтрон-захватная терапия (БНЗТ) – это методика, разработанная для избирательного облучения опухоли на клеточном уровне. Впервые концепция БНЗТ была предложена после открытия Чедвиком нейтрона (1932 г.) и разработок Голдхабера (1934 г.), в которых было установлено, что естественно встречающийся изотоп ^{10}B обладает большим сечением захвата тепловых нейтронов. Американский ученый обнаружил, что ^{10}B проявлял необычно высокую активность в поглощении тепловых нейтронов (энергия $<0,1$ эВ). Сразу после захвата теплового нейтрона ^{10}B становится ^{11}B , впоследствии немедленно распадается на энергетическую альфа-частицу и ион отдачи ^7Li . Пробег альфа-частицы и иона отдачи в ткани не превышает 12-13 мкм, что сопоставимо с размерами клетки, а также они имеют совместную среднюю кинетическую энергию 2,33 МэВ.. На рис. 1 показана ядерная реакция, лежащая в основе БНЗТ.

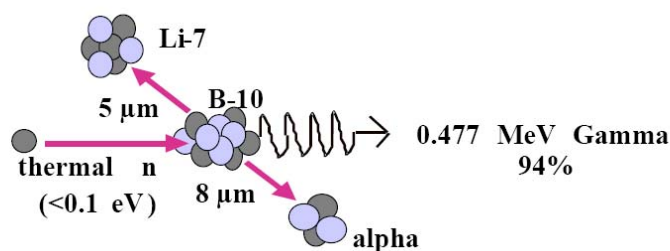


Рис.1 Ядерная реакция, используемая в БНЗТ

В настоящий момент исследования в области НЗТ ведутся в исследовательских центрах во многих странах (США, Евросоюз, Япония, Аргентина, Тайвань и др.). Основное применение НЗТ находит для лечения неоперабельных и радиорезистентных злокачественных новообразований. Следует отметить, что НЗТ используется в случаях, когда другие методы лечения оказываются бессильными. 47 стран мира проводят исследования по этой проблеме на базе специализированных или переоборудованных ядерных реакторов. На сегодняшний день в мире функционирует 14 центров по НЗТ, проводятся международные съезды и конференции, посвященные поиску решений проблемных вопросов НЗТ. Через клинические испытания метода НЗТ прошли более 2000 человек.

В настоящее время общепризнано, что для реализации технологии НЗТ необходимо иметь:

1. Пучок тепловых и/или эпитепловых нейтронов (с энергией $0.5 < E < 10$ кэВ) для обработки поверхностных опухолей высокой интенсивности (плотность потока нейтронов не менее 10^9 нейтрон/см²с). Такая плотность потока в настоящее время достигается лишь с использованием ядерного реактора. Спектр нейтронов пучка должен быть таким, чтобы в месте расположения опухоли получить максимум плотности потока тепловых нейтронов.

2. Борсодержащий препарат с обогащенным нуклидом ¹⁰B или гадолинийсодержащий препарат, которые должны накапливаться в опухоли в концентрациях более 20 мкг/г опухоли для ¹⁰B или 5.5 мг/г для Gd. Отношение их концентраций в опухоли и в нормальной ткани должно быть 3 и выше во время процедуры облучения.

Пучок нейтронов должен быть максимально очищен от сопутствующего фотонного излучения и быстрых нейтронов с энергией $E > 10$ кэВ. Максимальная суммарная доза, создаваемая этим излучением в опухоли за все время облучения, не должна превосходить 9-12 Гр.

На ядерном реакторе ИРТ-МИФИ была создана экспериментальная облучательная установка на горизонтальном канале ГЭК-4 (рис.2) для исследований по нейтрон-захватной терапии (НЗТ). В результате этих работ были проведены предклинические исследования НЗТ на культурах клеток, мелких лабораторных животных и собаках со спонтанными злокачественными новообразованиями с использованием различных препаратов.

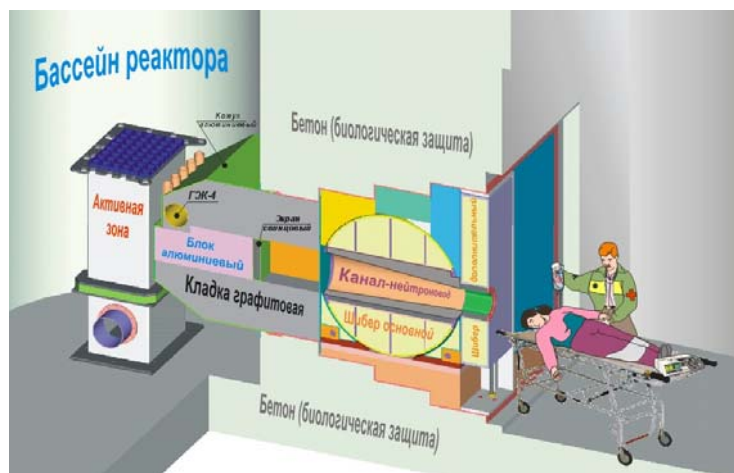


Рис.2 Схема медицинского канала НЗТ на ядерном реакторе ИРТ МИФИ

Однако эта установка не может быть использована для клинических испытаний, т.к. нет возможности использовать поток эпитепловых нейтронов для обработки глубоколежащих опухолей, в том числе и опухолей головного мозга. Чтобы решить эту проблему, предложили создать облучательный блок на канале ГЭК-1 (рис.3), который проходит через тепловую колонну. Для этого необходимо провести реконструкцию тепловой колонны, которая будет включать в себя демонтаж большой части графита и замены его блоком комбинированного формирования спектра тепловых и эпитепловых нейтронов на основе алюминия. При этом существующий щитер будет заменен на щитер новой поворотной конструкции, и разработано новое коллимирующее устройство. Проведенные предварительные расчеты показали возможность после реконструкции тепловой колонны получить пучок эпитепловых

нейтронов, с необходимой интенсивностью ($\Phi_T > 1,3 \cdot 10^9 \text{ н/см}^2 \cdot \text{с}$) при суммарной дозе сопутствующих быстрых нейтронов и фотонного излучения не более $8 \cdot 10^{13}$ Грей на единицу потока тепловых или эпитепловых нейтронов. На базе этого пучка нейтронов может быть создана облучательная клиническая установка для НЗТ, позволяющая обрабатывать как поверхностные, так и глубоколежащие опухоли. Соотношение тепловых и/или эпитепловых нейтронов в пучке можно изменять с помощью фильтров, содержащих ^6Li .

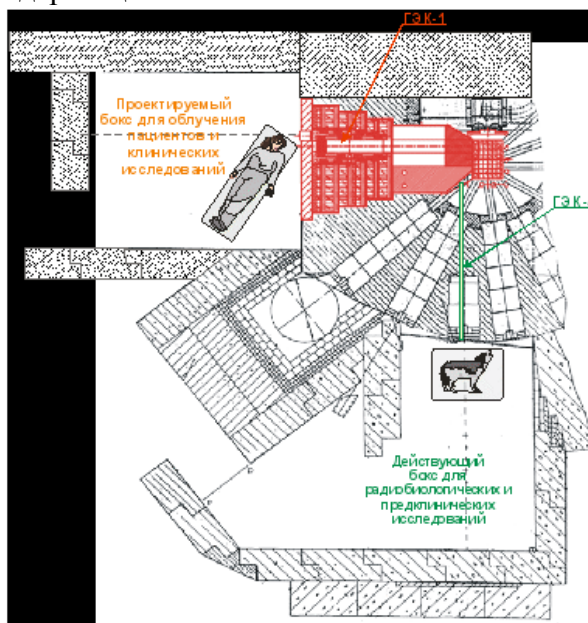


Рис.3 Схема каналов проектируемой базы НЗТ на реакторе ИРТ МИФИ и зона проектирования

Проект реконструкции тепловой колонны включает в себя решение следующих задач: проведение полных расчетных исследований, для определения геометрии и состава зоны формирования пучка эпитепловых и/или тепловых нейтронов в тепловой колонне канала ГЭК-1; создание технической документации на реконструкцию нового поворотного шибера устройства и тепловой колонны; изготовление коллиматора и шибера устройства; демонтаж тепловой колонны и монтаж нового блока-формирователя спектра тепловых и эпитепловых нейтронов; измерение характеристик пучка нейтронов и анализ исследований; изучение новых нейтрон-захватных препаратов на полученном пучке нейтронов; аттестация созданной клинической облучательной базы по результатам физических измерений и данным предклинических испытаний на собаках со спонтанными опухолями с использованием разработанных препаратов. Это позволит сформулировать рекомендации по клиническому использованию НЗТ на созданной облучательной базе.

В настоящее время на основе проведенных расчетных и экспериментальных исследований разработан технический проект реконструкции и изготовлен поворотный шибер.

После реконструкции канала ГЭК-1 на реакторе ИРТ МИФИ будет создана первая в России база для проведения специализированных экспериментальных и клинических исследований НЗТ злокачественных опухолей.

Список литературы:

1. Бекман И.Н. Курс лекций. Лекция 7 «Ядерная медицина». - 2005 г.
2. Информационно аналитический портал агентства ядерной медицины.
3. Климанов В.А. Радиобиологическое и дозиметрическое планирование лучевой и радионуклидной терапии. - 2011 г.

Моделирование процесса самораспространяющегося высокотемпературного синтеза

М.Б. Лабыкин, Е.В. Шкляренко

labykin96@gmail.com

Научный руководитель: доцент, к.ф.т.н. Д.С. Исаченко

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Физико-технический институт, начальник учебного отдела

Получение материалов для различных областей техники играет большую роль в современном мире, одной из технологий получения является самораспространяющийся высокотемпературный синтез. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез – одно из перспективных направлений материаловедения, так как продукты, получаемые при нём, обладают набором оптимальных и эффективных свойств, достигающихся наличием в структуре фаз с взаимодополняющими физико-химическими и другими параметрами [1-2].

Параллельно с этим основной упор идет на моделирование физических экспериментов. Моделирование систем горения – сложный процесс, для его решения требуются различные подходы. Одним из таких подходов является модель нестационарного уравнения теплопроводности. Совместно с моделью используется квантовая модель Дебая для определения зависимости теплоемкости продуктов горения от температуры. Такой подход позволяет определить адиабатическую температуру, как функцию ряда параметров: плотности реакционной системы, соотношения масс исходных реагентов, начальной температуры процесса [3].

Особенностью данной методики является использование квантовой модели Дебая для определения температурной зависимости теплоемкости продуктов горения. Эта модель, в отличие от традиционных методик расчета теплоемкостей, основанных на аппроксимации экспериментальных данных по теплоемкостям, позволяет определить адиабатическую температуру горения как функцию ряда параметров состояния системы: плотность реакционной системы, массовое соотношение компонентов в шихте исходных реагентов, начальная температура процесса [4].

Согласно квантовой модели Дебая теплоемкость при постоянном объеме определяется как:

$$C_V(T) = 9Nnk \left(\frac{T}{\theta} \right)^3 \int_0^{\theta/T} \frac{x^4 e^x dx}{(e^x - 1)^2}, \quad \theta = \frac{hC_0}{k} \left(\frac{9N}{4\pi V} \right)^{1/3},$$